

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

დავით ჩიქოვანი

ცოდნის ბაზის წესებს შორის კონფლიქტების გადაწყვეტის მეთოდების  
შემუშავება ენერგოსისტემის რეჟიმების მართვის მაგალითზე

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარდგენილი  
დისერტაციის

ავტორ ეფერატი

თბილისი

2012

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის, კომპიუტერული ინჟინერიის დეპარტამენტის, კომპიუტერული სისტემებისა და ქსელების მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,  
სრული პროფესორი **რომან სამხარაძე**

რეცენზენტები: ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი,  
ასოცირებული პროფესორი  
**ნინო მჭედლიშვილი**

ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი,  
ასოცირებული პროფესორი **გელა ჭიკაძე**

დისერტაციის დაცვა შედგება 2012 წლის ----- საათზე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი -----, აუდიტორია -----.

მისამართი: 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 77

დისერტაციის გაცნობა შესაძლებელია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ბიბლიოთეკაში (0175, თბილისი, მ. კოსტავას 77), ხოლო ავტორეფერატისა სტუ-ს ვებ-გვერდზე.

სადისერტაციო საბჭოს სწავლული მდივანი

სრული პროფესორი

**თ. კაიშაური**

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

**სადისერტაციო თემის აქტუალურობა.** რთულ, დინამიკურ ტექნიკურ სისტემებში გადაწყვეტილებების სწორად და ეფექტურად მიღებას ხელს უწყობს ექსპერტულ სისტემებში პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების ეფექტურად გადაწყვეტა და შესაბამისი მეთოდებისა და ალგორითმების შემუშავება და გამოყენება.

ენერგეტიკის ამოცანებისა და პრობლემების გადაწყვეტის მიზნით გამოყენებული ექსპერტული სისტემებისადმი მიძღვნილი ლიტერატურის მიმოხილვა და ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ექსპერტული სისტემების გამოყენების ძირითადი სფეროა ენერგოსისტემების ოპერატიული, ავარიული და ავარიის შემდგომი რეჟიმების ეფექტური მართვა. შედარებით ნაკლები ყურადღება ეთმობა მათ გამოყენებას ენერგოსისტემების სადღეღამისო რეჟიმების ეფექტური მართვისთვის.

როგორც ცნობილია, ლოგიკური დასკვნების კეთების პრობლემატიკაში დიდი მნიშვნელობა აქვს პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის ეფექტური გზებისა და საშუალებების შემუშავებასა და რეალიზებას. გაანალიზებულია არსებული მდგომარეობა და ნაჩვენებია ამ კუთხით სამეცნიერო კვლევების წარმართვის აუცილებლობა.

ჩატარებულია პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების ანალიზი. ნაჩვენებია, რომ ამ კონფლიქტების ეფექტურ გადაწყვეტაზე დამოკიდებული სწორი გადაწყვეტილებების სწრაფად მიღება. ნაჩვენებია, აგრეთვე, რომ პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების სწრაფ გადაწყვეტაზე მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული რთული ტექნიკური და დინამიკური ობიექტების ეფექტური მართვა.

პროდუქციულ სისტემებში გადაწყვეტილებების მიღების თითოეულ ეტაპზე მთავარი პრობლემაა საჭირო წესის არჩევა. სწორედ ამაზეა დამოკიდებული გადაწყვეტილებების მიღების სისწრაფე და ეფექტურობა,

და შედეგად რთული დინამიკური ობიექტების ეფექტური მართვა.

**კვლევის მიზანი.** კვლევის ძირითად მიზანს წარმოადგენს პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის მოდელებისა და ალგორითმების შემუშავება.

**კვლევის ობიექტი.** ცოდნის ბაზის პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტები.

**მეცნიერული სიახლე.** ცოდნის ბაზის წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადასაწყვეტად შემუშავებულია მიდგომა, რომლის თანახმად არსებული სიტუაციიდან გამომდინარე წესების კონფლიქტური ნაკრები იყოფა ჯგუფებად. მათ ენიჭებათ პრიორიტეტები და სრულდება ამ ჯგუფების რანჟირება პრიორიტეტების შესაბამისად. თითოეული ჯგუფის შიგნით პროდუქციული წესები, ასევე დალაგებულია პრიორიტეტების მიხედვით, სიტუაციიდან გამომდინარე. ასეთი მიდგომა მკვეთრად ამცირებს გასასინჯი წესების რაოდენობას გადაწყვეტილების მიღების თითოეულ ეტაპზე, რაც თავის მხრივ იძლევა ეფექტური გადაწყვეტილების სწრაფად მიღების შესაძლებლობას. მეხსიერებაში მოთავსებული შაბლონები, რომლებსაც შედარდება პროდუქციული წესების პირობის ნაწილები, დალაგებულია ანბანის მიხედვით, რაც მკვეთრად აჩქარებს საჭირო წესის ძებნისა და ამორჩევის პროცესს.

**კვლევის მეთოდები.** კვლევის დროს გამოყენებულია ხელოვნური ინტელექტის მეთოდები, ცოდნის წარმოდგენისა და გამოყენების მეთოდები, მრავალკრიტერიუმიანი მართვის მეთოდები, გადაწყვეტილებათა მიღების მეთოდები და სიმრავლეთა თეორია.

**პრაქტიკული ღირებულება.** სადისერტაციო ნაშრომში მიღებული შედეგების პრაქტიკული ღირებულება იმაში მდგომარეობს, რომ ექსპერტული სისტემის შემუშავებული სტრუქტურა ენერგოსისტემის ტექნოლოგს საშუალებას აძლევს მიიღოს როგორც საბოლოო, ისე შუალედური შედეგები, როგორც ცხრილური, ისე გრაფიკული სახით,

შეცვალოს დღე-ღამის ნებისმიერი საათის მონაცემები, გაითვალისწინოს ახალი სიტუაციის პარამეტრები და ა.შ.

**ნაშრომის აპრობაცია.** სადისერტაციო თემის გარკვეული ნაწილი მოხსენებულია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციებზე:

- საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია “ინოვაციური ტექნოლოგიები წარმოებასა, მეცნიერებასა და განათლებაში“, მოხსენებათა კრებული, გროზნო, 2010 წ.
- კონფერენცია მიძღვნილი აკადემიკოს ი. ფრანგიშვილის დაბადების 80 წლისთავისადმი, მოხსენებათა კრებული, თბილისი, 2010 წ.

**პუბლიკაციები.** დისერტაციის თემის მიმართულებით გამოქვეყნებულია ოთხი ნაშრომი სეს-ის მიერ რეკომენდებულ სამეცნიერო ჟურნალებში.

**დისერტაციის სტრუქტურა.** სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, სამი თავის, დასკვნებისა და გამოყენებული ლიტერატურის სიისაგან.

### **ნაშრომის შინაარსი**

**შესავალში** დასაბუთებულია პრობლემის აქტუალობა და ნაჩვენებია მეცნიერული კვლევების გააქტიურების აუცილებლობა აღნიშნული პრობლემების გადასაჭრელად.

**პირველ თავში** ჩატარებულია ენერგეტიკაში გამოყენებული ექსპერტული სისტემების მიმოხილვა და კრიტიკული ანალიზი. ნაჩვენებია, რომ ენერგეტიკაში არსებული პრობლემების გადასაწყვეტად აღარ არის ეფექტური არსებული კლასიკური მეთოდების გამოყენება. ამიტომ, უკანასკნელი 20-40 წელი ხასიათდება ენერგეტიკული პრობლემების გადასაწყვეტად ექსპერტული სისტემების გამოყენებით.

დასაბუთებულია ენერგოსისტემების რეჟიმების მართვაში ექსპერტული სისტემების გამოყენების აუცილებლობა. ჩამოყალიბებულია ექსპერტული სისტემების მიერ შესრულებული ფუნქციები: ენერგოსისტემების რეჟიმების დაგეგმვა და მართვა, მონაცემების შეგროვება და მათი ანალიზი, მოვლენების პროგნოზირება და ა.შ. ნაჩვენებია, რომ ექსპერტული სისტემების გამოყენების ძირითადი სფეროა ენერგოსისტემების ოპერატიული, ავარიული და ავარიის შემდგომი რეჟიმების ეფექტური მართვა. შედარებით ნაკლები ყურადღება ეთმობა მათ გამოყენებას ენერგოსისტემების ნორმალური სადღეღამისო რეჟიმების ეფექტური მართვისთვის.

განხილულია პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის გზები და საშუალებები. ჩატარებულია პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების ანალიზი. ნაჩვენებია, რომ ეს პრობლემა წარმოადგენს ერთ-ერთ მთავარ პრობლემას გადაწყვეტილებების მიღების დროს და მის სწორ გადაწყვეტაზეა დამოკიდებული ეფექტური გადაწყვეტილებების მიღება.

ნაჩვენებია, რომ ენერგოსისტემების რეჟიმების მართვის დროს არსებული სირთულეები განაპირობებენ ექსპერტული სისტემების გამოყენებას. მაგრამ, ენერგოსისტემების რეჟიმების მართვის დროს გადაწყვეტილების მიღების თითოეულ ეტაპზე ადგილი აქვს პროდუქციულ წესებს შორის კონფლიქტს, ანუ არსებობს პროდუქციული წესების კონფლიქტური ნაკრები. ეს ცნობილი პრობლემაა და ამიტომ, მეტად მნიშვნელოვანია ამ პრობლემის გადაწყვეტის გზების ძებნისა და შესაბამისი მოდელებისა და ალგორითმების შემუშავება ზოგადად და კერძოდ, ენერგეტიკის ამოცანებისათვის.

აქედან გამომდინარე, ენერგოსისტემების რეჟიმების ეფექტური მართვის პრობლემატიკაში, აუცილებელია შემდეგი ამოცანების გადაწყვეტა:

1. ჰიდროელექტროსადგურებისა და თბოელექტროსადგურების მიზნებს შორის არსებული კავშირებისა და წინააღმდეგობების

გამოვლენა და მათი ზემოქმედების განსაზღვრა ლოგიკური დასკვნების პროცესის ეფექტურობაზე.

2. პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის მოდელებისა და ალგორითმების შემუშავება.
3. შემუშავებული მოდელებისა და ალგორითმების ბაზაზე ექსპერტული სისტემის კვლევითი პროტოტიპის შემუშავება.

**მეორე თავში** აგებულია ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების მართვის მოდელი. ენერგოსისტემების მოკლევადიანი რეჟიმების მართვის დროს არსებული მიზნებიდან ექსპერტული ცოდნის საფუძველზე გამოიყოფა შემდეგი მიზნები:

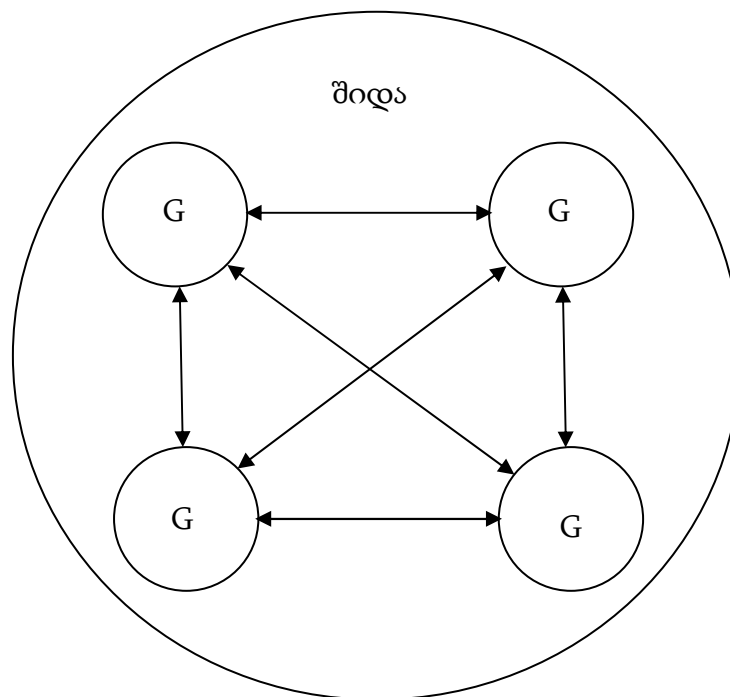
- $G_1$  – დღე-ღამის განმავლობაში ელექტროენერგიაზე მოთხოვნის მაქსიმალურად დაკმაყოფილება;
- $G_2$  – ჰიდრორესურსების გამოყენების მაქსიმიზება;
- $G_3$  – არაენერგეტიკული მიზნებისათვის ჰიდრორესურსების ეკონომია;
- $G_4$  – ჰიდროელექტროსადგურების (ჰეს) მიერ დატვირთვის რეგულირების მაქსიმიზება;
- $G_5$  – ჰიდროელექტროსადგურებზე ენერგიის დანაკარგების მინიმიზება;
- $G_6$  – თბოელექტროსადგურებზე (თეს) სათბობის დანახარჯების მინიმიზება.

$G_1$  მიზანი მოქმედებს ენერგოსისტემის დონეზე,  $G_2, G_3, G_4, G_5$  მიზნები არსებობენ ჰიდროელექტროსადგურის დონეზე,  $G_6$  მიზანი კი – თბოელექტროსადგურის დონეზე.

ერთი ჰიდროელექტროსადგურის შიგნით მიზნებს შორის არსებული კავშირები ნაჩვენებია ნახ. 1-ზე. ნახ. 2-ზე ნაჩვენებია  $i$ -ური ჰიდროელექტროსადგურის მიზნების კავშირები (გარე კავშირები)  $i + 1$ -ური ჰიდროელექტროსადგურის მიზნებთან. ასეთი გარე კავშირები ერთმანეთთან არსებობს თითოეული ჰიდროელექტროსადგურის მიზნებს შორის (ნახ.3). გარე კავშირები არსებობს, აგრეთვე ჰიდროელექტროსადგურის მიზნებსა და თბოელექტროსადგურის

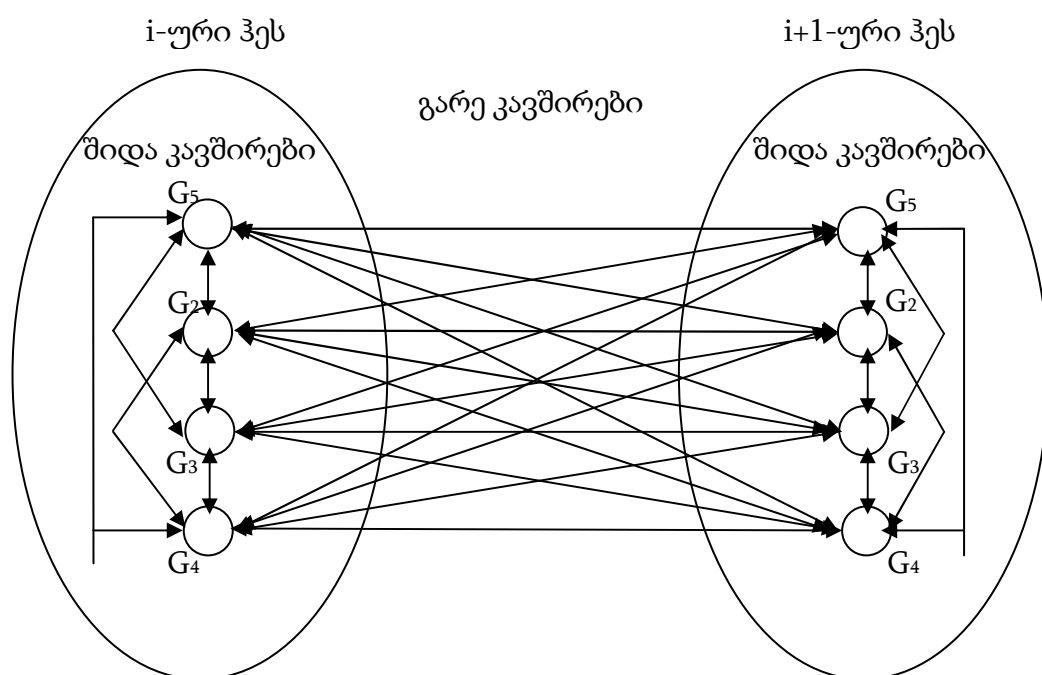
მიზნებს შორის (ნახ. 4). ეს კავშირები საკმაოდ რთული ხასიათისაა და მათი ფორმალიზება საკმაოდ რთულია. ამასთან, მიზნების ნაწილი წინააღმდეგობრივია, ნაწილი კი - არა.

#### i-ური ჰიდროელექტროსადგური

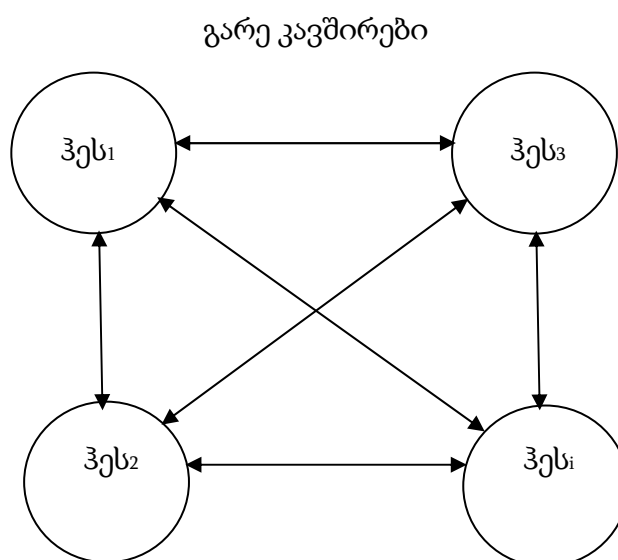


ნახ. 1. ერთ ჰეს-ის დონეზე მოქმედ მიზნებს შორის არსებული შიდა კავშირები.

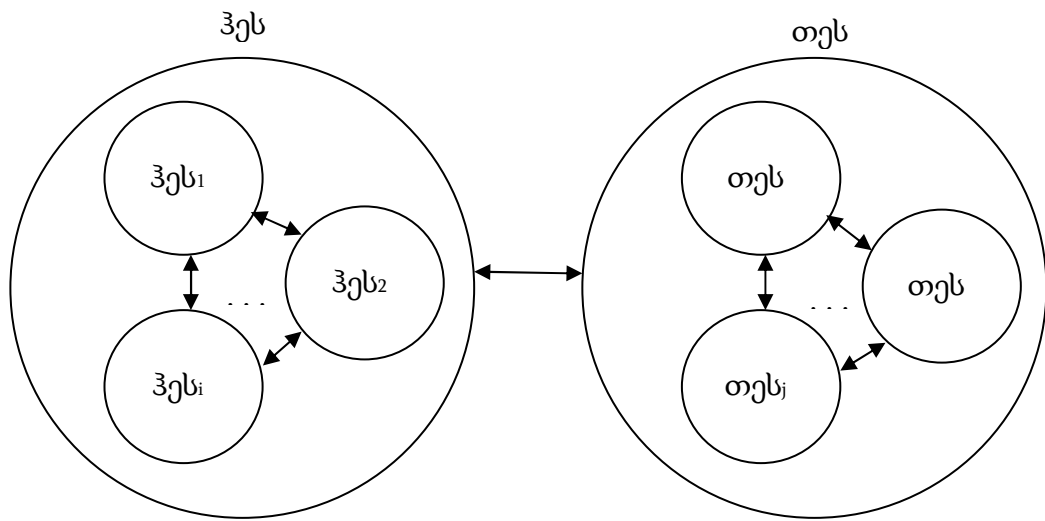




ნახ. 2. ორი ჰეს-ის მიზნებს შორის არსებული გარე კავშირები.



ნახ. 3. ჰეს-ების მიზნებს შორის არსებული გარე კავშირები.



ნახ. 4. ჰეს-ებისა და თეს-ების მიზნებს შორის არსებული გარე კავშირები.

ჩატარებულია ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების მართვისას მოქმედ მიზნებს შორის არსებული კავშირების ანალიზი ექსპერტული ცოდნის საფუძველზე. დადგენილია, რომ ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების მართვის დროს მოქმედ მიზნებს შორის რთული ურთიერთკავშირები არსებობს. მიზნების ნაწილს შორის მჭიდრო კავშირი არსებობს, მიზნების ნაწილს შორის კი - სუსტი. მიზნების ნაწილი წინააღმდეგობრივია, ნაწილი კი - არა. გარდა ამისა, ეს მიზნები არაერთგვაროვანია: მიზნების ნაწილი ორიენტირებულია მათი შესაბამისი რიცხვითი მნიშვნელობების მაქსიმიზებაზე, ნაწილი კი - მინიმიზებაზე. ყოველივე ეს, აუცილებელს ხდის ექსპერტული სისტემების გამოყენებას ენერგოსისტემების ნორმალური სადღეღამისო რეჟიმების ეფექტური მართვისთვის.

შემუშავებულია პროდუქციულ წესებს შორის კონფლიქტების გადაწყვეტის მოდელი. ენერგოსისტემა შეიძლება იმყოფებოდეს

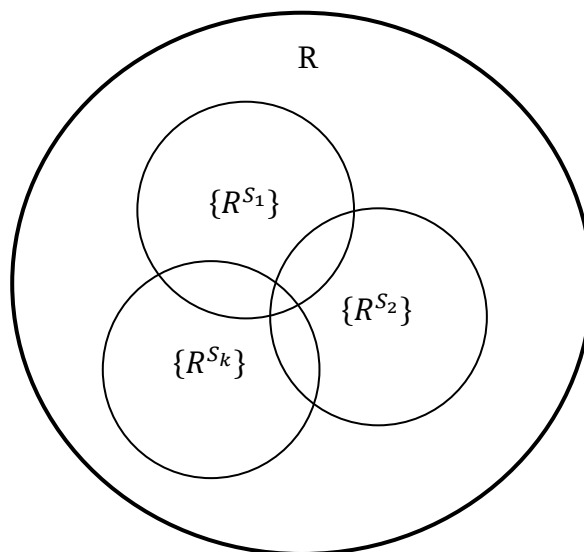
მდგომარეობების სიმრავლეებიდან ერთ-ერთში. ყველა შესაძლო მდგომარეობების სიმრავლე აღვნიშნოთ  $S$ -ით:

$$S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}, k = \overline{1, K}.$$

თითოეულ მდგომარეობას შეესაბამება ერთმანეთთან კონფლიქტში მყოფი პროდუქციული წესების გარკვეული სიმრავლე. პროდუქციული წესების სიმრავლე აღვნიშნოთ  $R$ -ით:

$$R = \{\{R^{S_1}\}, \{R^{S_2}\}, \dots, \{R^{S_k}\}\}, k = \overline{1, K}.$$

აქ,  $\{R^{S_1}\}$  არის  $S_1$  მდგომარეობის შესაბამისი კონფლიქტური პროდუქციული წესების სიმრავლე,  $\{R^{S_2}\}$  არის  $S_2$  მდგომარეობის შესაბამისი კონფლიქტური პროდუქციული წესების სიმრავლე და ა.შ.  $R$  სიმრავლეში შემავალ ქვესიმრავლეებს შეიძლება ჰქონდეს თანაკვეთა, ანუ შეიცავდეს ერთნაირ წესებს (ნახ. 5).



ნახ. 5. პროდუქციული წესების ქვესიმრავლეების ურთიერთმიმართება

თითოეული მდგომარეობის შესაბამისი კონფლიქტური პროდუქციური წესების სიმრავლე იყოფა ქვესიმრავლეებად (ნახ. 6):

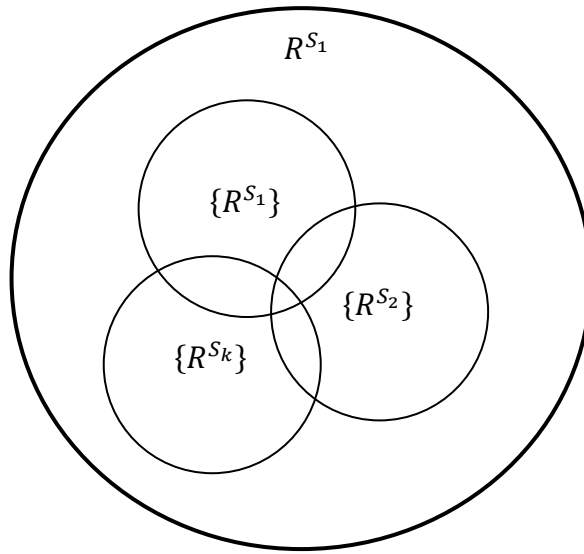
$$R^{S_1} = \{\{R_1^{S_1}\}, \{R_2^{S_1}\}, \dots, \{R_{k_1}^{S_1}\}\}, k_1 = \overline{1, K}, K_1 \in K,$$

$$R^{S_2} = \{\{R_1^{S_2}\}, \{R_2^{S_2}\}, \dots, \{R_{k_2}^{S_2}\}\}, k_2 = \overline{1, K}, K_2 \in K,$$

...

$$R^{S_k} = \{\{R_1^{S_k}\}, \{R_2^{S_k}\}, \dots, \{R_{k_k}^{S_k}\}\}, k_k = \overline{1, K}, K_k \in K.$$

როგორც ვხედავთ,  $S_1$  მდგომარეობაში არსებობს ერთმანეთთან კონფლიქტში მყოფი პროდუქციული წესების რამდენიმე შემადგენლობა. ანალოგიურად,  $S_2$  მდგომარეობაში არსებობს ერთმანეთთან კონფლიქტში მყოფი პროდუქციული წესების რამდენიმე შემადგენლობა და ა.შ.



ნახ. 6. კონფლიქტური წესების ქვესიმრავლეების ურთიერთმიმართება

კონფლიქტური პროდუქციული წესების  $R^{S_1}$  სიმრავლის თითოეული ქვესიმრავლის შემადგენლობა ასეთია:

$$R_1^{S_1} = \{R_{11}^{S_1}, R_{12}^{S_1}, \dots, R_{1n_{11}}^{S_1}\}, n_{11} = \overline{1, N_{11}}, N_{11} \in N,$$

$$R_2^{S_1} = \{R_{21}^{S_1}, R_{22}^{S_1}, \dots, R_{2n_{12}}^{S_1}\}, n_{12} = \overline{1, N_{12}}, N_{12} \in N,$$

...

$$R_{k_1}^{S_1} = \{R_{k_1 1}^{S_1}, R_{k_1 2}^{S_1}, \dots, R_{k_1 n_{1k_1}}^{S_1}\}, n_{1k_1} = \overline{1, N_{1k_1}}, N_{1k_1} \in N,$$

შესაბამისად, კონფლიქტური პროდუქციული წესების  $R^{S_k}$  სიმრავლის თითოეული ქვესიმრავლის შემადენლობა ასეთია:

$$R_1^{S_k} = \{R_{11}^{S_k}, R_{12}^{S_k}, \dots, R_{1n_{k1}}^{S_k}\}, n_{k1} = \overline{1, N_{k1}}, N_{k1} \in N,$$

$$R_2^{S_k} = \{R_{21}^{S_k}, R_{22}^{S_k}, \dots, R_{2n_{k2}}^{S_k}\}, n_{k2} = \overline{1, N_{k2}}, N_{k2} \in N,$$

...

$$R_{k_k}^{S_k} = \{R_{k_k 1}^{S_k}, R_{k_k 2}^{S_k}, \dots, R_{k_k n_{kk_k}}^{S_k}\}, n_{kk_k} = \overline{1, N_{kk_k}}, N_{kk_k} \in N,$$

საწყისი მონაცემების ანალიზის საფუძველზე განისაზღვრება ის მდგომარეობები, რომლებშიც იმყოფება ენერგოსისტემა. თითოეული მდგომარეობისათვის გამოიყენება კონფლიქტური პროდუქციული წესების შესაბამისი სიმრავლე. მასში შემავალი კონფლიქტური პროდუქციული წესების ქვესიმრავლეები დალაგებულია პრიორიტეტების მიხედვით. ლოგიკური დასკვნის კეთებისათვის აირჩევა კონფლიქტური პროდუქციული წესების პრიორიტეტული ქვესიმრავლე და მოხდება მასში შემავალი წესების გამოყენება. თითოეული ქვესიმრავლის შიგნით ასევე, ხდება პროდუქციული წესების რანჟირება და შესაბამისად, მათი განხილვა პრიორიტეტების მიხედვით.

ასეთი მიდგომა მკვეთრად ამცირებს განსახილველი კონფლიქტური პროდუქციული წესების სიმრავლეს და შესაბამისად, აჩქარებს გადაწყვეტილებების მიღების პროცესს.

მოდელების საფუძველზე შემუშავებულია ალგორითმი, რომელიც ითვალისწინებს ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების მართვის დროს მოქმედი მიზნების პრიორიტეტებს. პროდუქციული წესების დალაგება პრიორიტეტების მიხედვით სრულდება ენერგოსისტემის კვალიფიციური ტექნოლოგების ექსპერტული ცოდნის საფუძველზე. მაგალითად, თუ პრიორიტეტულია „დღე-ღამის განმავლობაში ელექტროენერგიაზე მოთხოვნის მაქსიმალურად დაკმაყოფილების“  $G_1$

მიზანი, მაშინ გვაქვს ენერგოსისტემის  $S_1$  მდგომარეობა და აირჩევა პროდუქციული წესების შესაბამისი  $\{R^{S_1}\}$  ქვესიმრავლე. თუ პრიორიტეტულია „არაენერგეტიკული მიზნებისათვის ჰიდრორესურსების ეკონომიის“  $G_3$  მიზანი, მაშინ ადგილი აქვს ენერგოსისტემის  $S_3$  მდგომარეობას და აირჩევა პროდუქციული წესების შესაბამისი  $\{R^{S_3}\}$  ქვესიმრავლე და ა.შ. თითოეული ქვესიმრავლის შიგნით წესების მოწესრიგება ხდება პრიორიტეტების მიხედვით ენერგოსისტემის კვალიფიციური ტექნოლოგიების ექსპერტული ცოდნის საფუძველზე.

ენერგოსისტემის თითოეული მდგომარეობის შესაბამისი პროდუქციული წესების ჯგუფები განსაზღვრულია წინასწარ ექსპერტული ცოდნის საფუძველზე. მიზნების რაოდენობის ზრდასთან ერთად შესაძლებელია პროდუქციული წესებისა და ჯგუფების რაოდენობისა და შემადგენლობის შეცვლა. თუ რომელიმე მიზანი არ მონაწილეობს განხილვაში, მაშინ არ განიხილება შესაბამისი ჯგუფიც.

წესების კონფლიქტური ნაკრები შეიცავს აგრეთვე, ისეთ წესებს, რომელთა დასკვნის ნაწილში მოთავსებულია რამდენიმე დასკვნა. ეს კიდეც უფრო ზრდის კონფლიქტური წესების რაოდენობას. ასეთი წესის მაგალითი შეიძლება იყოს:

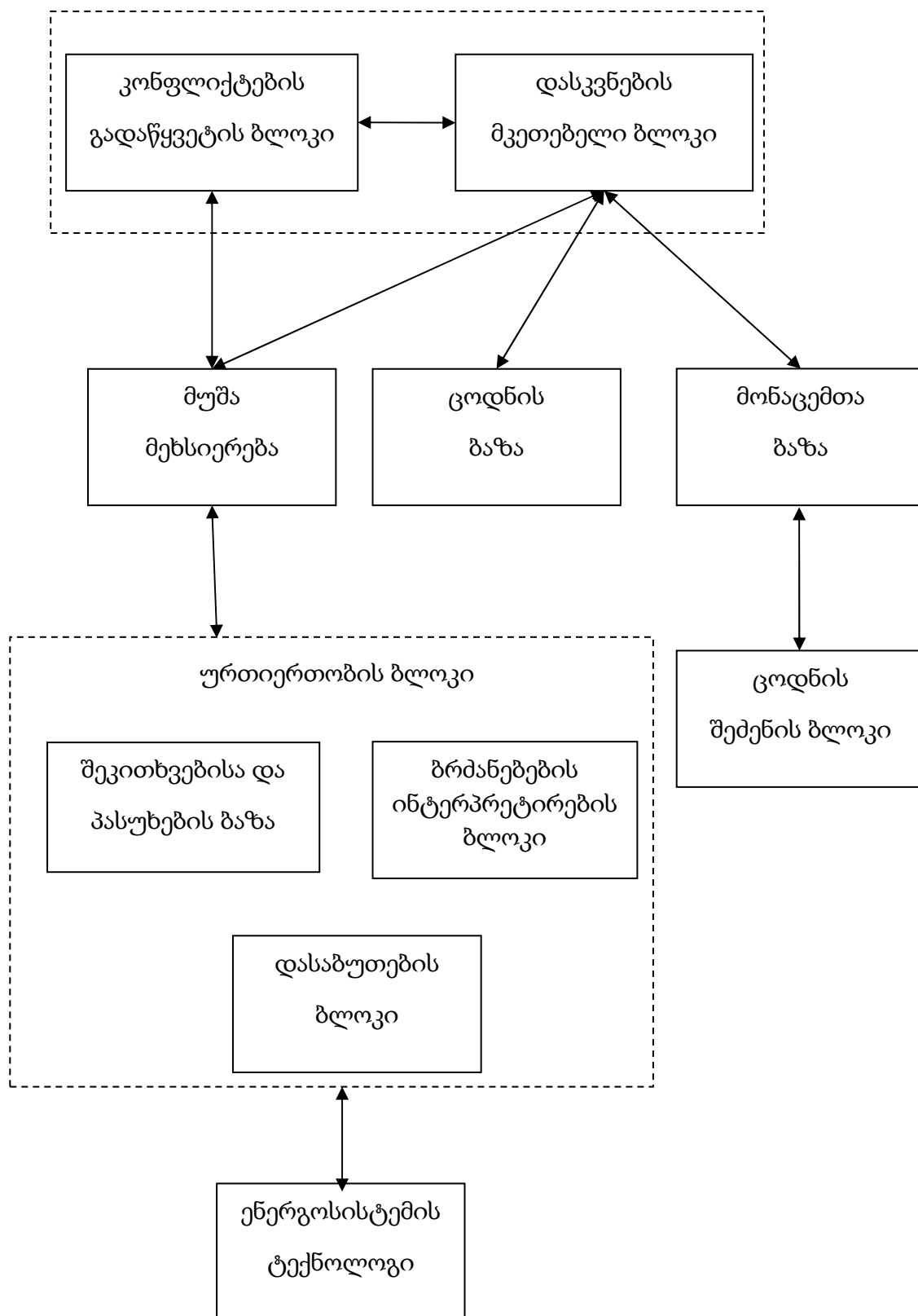
*თუ ჰესი წყლის სიჭარბითაა,*

*მაშინ ჰესი არ მონაწილეობს დატვირთვის რეგულირებაში*

*ან ჰესი გამორთულია*

*ან ჰესი ფარავს მხოლოდ პიკს*

*ან ჰესი გამოიმუშავებს მხოლოდ მინიმალურ სიმძლავრეს*



ნახ. 7. ექსპერტული სისტემის სტრუქტურა

ერთ-ერთი პირობა ამოირჩევა ენერგოსისტემის არსებული მდგომარეობის მიხედვით. როგორც კი, საბოლოო შედეგი დაფიქსირდება და ის მისაღები იქნება ენერგოსისტემის დისპეტჩერისთვის, მაშინ მოხდება მსჯელობების მწკრივის დამახსოვრება. შედეგად, როცა დაფიქსირდება ეს მდგომარეობა ან მსგავსი მდგომარეობა, ამოირჩევა მიღებული შედეგი დასკვნების კეთების გარეშე.

**მესამე თავში** საქართველოს ენერგოსისტემის სადღეღამისო ნორმალური რეჟიმების ეფექტურად მართვის მიზნით შემუშავებულია ექსპერტული სისტემა. არსებული ექსპერტული სისტემებისაგან განსხვავებით მისი სტრუქტურა შეიცავს პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის ბლოკს, რომელიც ლოგიკური დასკვნების მკეთებელ ბლოკთან ერთად ქმნის ერთ მსხვილ ბლოკს.

ასეთი მიდგომის უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ ლოგიკური დასკვნების კეთების პროცესში ხდება პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტა, რაც თავის მხრივ, აჩქარებს ეფექტური გადაწყვეტილების მიღების პროცესს. ექსპერტული სისტემის სტრუქტურა (ნახ. 7.) შემდეგი ბლოკებისაგან შედგება: პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის ბლოკი, ლოგიკური დასკვნების მკეთებელი ბლოკი, ცოდნის ბაზა, მონაცემთა ბაზა, მუშა მეხსიერება, ცოდნის შეძენის ბლოკი და ენერგოსისტემის ტექნოლოგთან ურთიერთობის ბლოკი. აღვწეროთ თითოეული ბლოკის მუშაობა.

შემუშავებული ცოდნის ბაზა შეიცავს ინფორმაციას ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების შესახებ და შედგება ფაქტებისა და წესებისაგან.

გამოყენებული ფაქტების ნაწილს აქვს სახე:

1. გამომუშავება "ენგური" 800 მვტ 12 სთ
2. "ლაჯანური" გამორთულია 15 სთ
3. "ენგური" რეგულირების უნარი მაღალია
4. პიკის საათებში ელექტროენერგიის მოხმარება დიდია
5. გაზაფხული ხასიათდება მდინარეებზე წყლის სიუხვით



6. ზამთარი ხასიათდება მდინარეებზე წყლის სიმეჩხრით

პროდუქციულ წესებს შემდეგი სახე აქვთ:

1. თუ პიკია,

მაშინ ჰეს მაქსიმალურ სიმძლავრეზე ჩაირთვება.

2. თუ ჰეს წყლის სიჭარბითაა,

მაშინ (ჰეს ყველა საათში მაქსიმალურ სიმძლავრეზე ჩაირთვება) ან (ჰეს არ მონაწილეობს დატვირთვის რეგულირებაში).

3. თუ ჰეს წყლის ნაკლებობითაა,

მაშინ ჰეს პირველ რიგში ფარავს გრაფიკის პიკურ ნაწილს, შემდეგ კი დანარჩენ ნაწილს.

4. თუ კმაყოფილდება წყალზე წყალსამეურნეო კომპლექსის მოთხოვნა,

მაშინ ჰეს-ზე ხდება წყლის ხარჯის მინიმიზება ან ჰეს არ მონაწილეობს დატვირთვის რეგულირებაში

5. თუ  $t$  საათში  $\Psi(t) > 0$  და  $N_{\text{ჰესი}}(t) = N_{\text{ჰესი}}^{\min}$ ,

მაშინ  $N_{\text{ჰესი}}(t) = 0$

6. თუ  $t$  საათში  $\Psi(t) > 0$  და  $N_{\text{ჰესი}}(t) = 0$ ,

მაშინ  $N_{\text{თესი}}(t) = N_{\text{თესი}}^{\min}$

7. თუ  $t$  საათში  $\Psi(t) > 0$  და  $N_{\text{თესი}}(t) = N_{\text{თესი}}^{\min}$ ,

მაშინ მართვა გადაეცემა ენერგოსისტემის დისპეტჩერს

8. თუ  $Q < 24N_{\text{ჰესი}}^{\max}$

მაშინ ჰეს <sub>$i$</sub>  წყლის სიჭარბითაა

9. თუ ჰეს <sub>$i$</sub>  წყლის სიჭარბითაა,

მაშინ  $N_{\text{ჰესი}}(t^b) = N_{\text{ჰესი}}^{\max}$  და ჰეს <sub>$i$</sub>  არ მონაწილეობს დატვირთვის რეგულირებაში

10. თუ პიკია,

მაშინ "ტყიბული" მაქსიმალურ სიმძლავრეზე ჩაირთვება

ბრძანებას შეიძლება წარმოადგენდეს შემდეგი წინადადებები:

1. გამორთე "ხრამი\_1" დღე-ღამის განმავლობაში

2. ჩართე "ვარდნილი" მინიმალურ სიმძლავრეზე
3. გამორთე "ტყიბული" 13, 16, 22 საათებში
4. ჩართე "ხრამი\_2" მაქსიმალურ სიმძლავრეზე
5. ჩართე "ხრამი\_1" მაქსიმალურ სიმძლავრეზე 5, 6, 7 სთ

შეკითხვებს შეიძლება შემდეგი სახე ჰქონდეს:

1. როგორია "ენგურის" გამომუშავება მე-19 საათში?
2. როგორია მინიმალური დადებითი დისბალანსი?
3. როგორია მოხმარება პიკში?
4. როგორია მაქსიმალური უარყოფითი დისბალანსი?
5. როგორია მაქსიმალური დადებითი დისბალანსი?
6. როგორია მინიმალური უარყოფითი დისბალანსი?
7. როგორია საშუალო უარყოფითი დისბალანსი?

პასუხებს შეიძლება შემდეგი სახე ჰქონდეს:

1. "ტყიბული" გამორთულია დღე-ღამის განმავლობაში
2. "ხრამი\_1" გამორთულია 4, 8, 17 საათებში
3. სადღეღამისო რეჟიმი დეფიციტურია
4. "ხრამი\_2" მაქსიმალურ სიმძლავრეს გამოიმუშავებს 20, 21, 22 საათებში
5. "ლაჯანური" მაქსიმალურ სიმძლავრეს გამოიმუშავებს 8, 9, 10 საათებში

ურთიერთობის ბლოკი ენერგოსისტემის ტექნოლოგიისგან ითხოვს საჭირო მონაცემებს. მოთხოვნებს შეიძლება ჰქონდეთ სახე:

1. შეიტანეთ ვარდნილის მაქსიმალური სიმძლავრე
2. შეიტანეთ სრე-ის მაქსიმალური სასურველი სიმძლავრე
3. შეიტანეთ ენგურის მინიმალური სიმძლავრე წყვეტის ზონამდე
4. რომელ საათებში უნდა გამოირთოს "შაორი"
5. რომელ საათებში უნდა გამოირთოს "ლაჯანური"

დასაბუთების კომპონენტი გასცემს მიღებული გადაწყვეტილებებისა და რეკომენდაციების დასაბუთებას. ის ენერგოსისტემის ტექნოლოგს უხსნის, თუ როგორ მიიღო მან მოცემული გადაწყვეტილება ან რეკომენდაცია. ამხსნელი ბლოკი უკუ მიმდევრობით განიხილავს გადაწყ-

ვეტილების ელემენტებს. განხილვა იმ დასკვნიდან იწყება, რომელსაც შეკითხვა ეხება, და გრძელდება იმ მონაცემებისკენ, რომლებსაც ეყრდნობა ეს დასკვნა. ენერგოსისტემის დისპეტჩერისთვის გაცემის წინ ასეთი შუალედური დასკვნები ქართულ ენაზე გადაიყვანება.

მივცეთ შეკითხვა:

*როგორ მოახდინე დადებითი დისბალანსის ლიკვიდირება მე-9 საათში?*

პასუხი:

*გამოვიყენე წესი-2, რომელიც ასკვნის, რომ თეს-მა უნდა გამოიმუშაოს მინიმალური სიმძლავრე მე-9 საათში დადებითი დისბალანსის ლიკვიდირებისთვის. იმ შემთხვევაში თუ ყველა ჰეს გამორთულია გამოვიყენე წესი-1, რომელიც ასკვნის, რომ ჰესი მე-9 საათში უნდა გამოირთოს იმ შემთხვევაში, თუ ის გამოიმუშავებდა მინიმალურ სიმძლავრეს*

მივცეთ შეკითხვა:

*რატომ არ მონაწილეობს ტყიბული დატვირთვის რეგულირებაში?*

პასუხი:

*გამოვიყენე წესი-5, რომელიც ასკვნის, რომ რადგან ტყიბული წყლის ნაკლებობითაა, ამიტომ იგი მხოლოდ პიკის საათებში გამოიმუშავებს მაქსიმალურ სიმძლავრეს გამოვიყენე წესი-4, რომელიც ასკვნის, რომ ტყიბული წყლის ნაკლებობითაა, რადგან მისთვის წყლის დაგეგმილი სადღეღამისო ხარჯი ნაკლებია ან ტოლი სიდიდეზე  $24N_{\text{ჰესი}}^{\min}$ .*

ურთიერთობის ბლოკი გასცემს შუალედურ გადაწყვეტილებებს, შედეგებსა და მონაცემებს ყოველი საათის შემდეგ. მაგალითად, დისბალანსების სიდიდეები, თითოეული ჰიდროელექტროსადგურისა და თბოელექტროსადგურის რეჟიმი, თბოელექტროსადგურზე სათბობის ხარჯი, ჰიდროელექტროსადგურზე წყლის ხარჯი და ა.შ. ამრიგად, ურთიერთობის ბლოკი ატყობინებს ენერგოსისტემის ტექნოლოგს იმის შესახებ თუ რომელმა მონაცემებმა, ფაქტებმა, პროდუქციულმა წესებმა და მსჯელობების მსვლელობამ მიიყვანა იგი მიღებულ შედეგამდე.

გამოთვლების ბლოკი დღეღამის თითოეული საათისთვის ანგარიშობს დისბალანსის სიდიდეებს, თითოეული ჰიდროელექტრო-სადგურისა და თბოელექტროსადგურის მიერ გასამომუშავებელ სიმძლავრეებს, განსაზღვრავს ენერგოსისტემის რეჟიმი დეფიციტურია თუ არა, ასრულებს ენერგოსისტემის ტექნოლოგიის მიერ შეტანილ ბრძანებებს და ა.შ.

ცოდნის შეძენის ბლოკის მუშაობისთვის შეიძლება გამოყენებული იყოს არსებული სტანდარტული მეთოდები და ალგორითმები. ჩვენს შემთხვევაში, ცოდნის ბაზაში წესების დამატებასა და შესაბამისი მოქმედებების განსაზღვრას ახდენს ცოდნის ინჟინერი ენერგოსისტემის დისპეტჩერთან ერთად.

შემუშავებულია ენერგოსისტემის ტექნოლოგიის ინტერფეისი, რომელიც მას საშუალებას აძლევს შეიტანოს, საწყისი და შუალედური მონაცემები, გაითვალისწინოს შეცვლილი სიტუაციის პარამეტრები, მიიღოს საბოლოო და შუალედური შედეგები, ცხრილური და გრაფიკული ფორმით და ა.შ.

მუშაობის საწყის ეტაპზე ექსპერტული სისტემა ენერგოსისტემის ტექნოლოგიისგან ითხოვს საწყისი მონაცემების შეტანას. იმ შემთხვევაში, თუ საწყისი მონაცემები ემთხვევა წინა პერიოდში შეტანილ მონაცემს, მაშინ შესაძლებელია მათი წაკითხვა და გამოყენება როგორც ახალი. წინააღმდეგ შემთხვევაში, ენერგოსისტემის ტექნოლოგი ექსპერტულ სისტემას აწვდის საწყის მონაცემებს: თითოეული ჰიდრო და თბოელექტროსადგურის მაქსიმალური და მინიმალური სიმძლავრეები, ჰიდროსადგურების მინიმალური სიმძლავრეები წყვეტის ზონამდე, თბოელექტრო-სადგურების მინიმალური სასურველი სიმძლავრეები, მოხმარება დღე-ღამის თითოეული საათისათვის, დასახარჯი წყლის მოცულობა თითოეული ჰიდროსადგურისათვის. შესაბამისი ფანჯარა ნაჩვენებია ნახ. 8-ზე. შემდეგ, ხორციელდება საწყისი მონაცემების შემოწმება და თუ

ყველაფერი წესრიგშია, ექსპერტული სისტემა იწყებს სადღეღამისო რეჟიმის ფორმირებას.

რეალიზებულია მსჯელობების პირდაპირი მწკრივის პროდუქციული წესების კონფლიქტური ნაკრების არსებობის პირობებში. ექსპერტული სისტემა იმახსოვრებს მიღებულ შედეგებს. საწყისი მონაცემების გამეორების შემთხვევაში ის მიიღებს შესაბამის გადაწყვეტილებებს განმეორებითი გამოთვლების შესრულების გარეშე. პროდუქციული წესების კონფლიქტური ნაკრების არსებობის პირობებში ექსპერტული სისტემა იყენებს ევრისტიკულ ცოდნას.

ერთ-ერთი ევრისტიკის მიხედვით ჰიდრო და თბოელექტროსადგურების დატვირთვა უნდა დაიწყოს პიკური საათებიდან მოხმარების კლების მიმართულებით. ამ მიზნით, წინასწარ უნდა შესრულდეს საათების დახარისხება მოხმარების კლების მიხედვით და შემდეგ ჰიდრო და თბოელექტროსადგურების დატვირთვა.

კიდევ ერთი ევრისტიკის მიხედვით ჰიდროსადგურები უნდა დახარისხდეს მათი რეგულირების უნარის კლების მიხედვით და ამ რიგითობით შესრულდეს მათი დატვირთვა. ეს იმას ნიშნავს, რომ პირველ რიგში დაიტვირთება რეგულირების მაღალი უნარის მქონე ჰიდროსადგურები, შემდეგ კი - დაბალი უნარის მქონე. ასეთი მიდგომა და აგრეთვე, სხვა დამატებითი ინფორმაციის გამოყენება, ხშირ შემთხვევებში, წარმატებით წყვეტს პროდუქციულ წესებს შორის არსებულ კონფლიქტებს.

სადღეღამისო რეჟიმების მართვა

	მაქსიმუმი	მინიმუმი	მინ. წყვეტის ზონამდე	წყლის მოცულობა	სთ.	მოხმარება	სთ.	მოხმარება
ენგური	800	0	100	13000	1	1650	13	1850
ლაჯანური	200	0	50	3500	2	1300	14	1800
ხრამი 1	100	50	50	2000	3	1250	15	1850
ხრამი 2	100	0	0	1900	4	1250	16	1950
შაორი	50	0	0	400	5	1250	17	1950
ტყიბული	50	0	0	350	6	1400	18	2350
					7	1550	19	2450
					8	1650	20	2200
					9	2250	21	2050
					10	2000	22	2020
					11	1950	23	1970
					12	1850	24	1850
თეს	1200	900	1000					

მაქსიმუმი    მაქს. სასურველი    მინიმუმი

2011 წლის 24 02, ხუთშაბათი ▾

ინიციალიზება    შენახვა    მონაცემების გადმოწერა    გენერირება

ნახ. 8. ექსპერტული სისტემის პირველი ფანჯარა

## დასკვნები

ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგები

სადისერტაციო ნაშრომში მიღებული შედეგების მიმართ შეიძლება გაკეთდეს შემდეგი დასკვნები:

1. ენერგეტიკის ამოცანებისა და პრობლემების გადაწყვეტის მიზნით გამოყენებული ექსპერტული სისტემებისადმი მიძღვნილი არსებული ლიტერატურის მიმოხილვა და ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ექსპერტული სისტემების გამოყენების ძირითადი სფეროა ენერგოსისტემების ოპერატიული, ავარიული და ავარიის შემდგომი რეჟიმების ეფექტური მართვა. შედარებით ნაკლები ყურადღება ეთმობა მათ გამოყენებას ენერგოსისტემების ნორმალური სადღეღამისო რეჟიმების ეფექტური მართვისთვის.
2. ჩატარებულია პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების ანალიზი. ნაჩვენებია, რომ ეს პრობლემა წარმოადგენს ერთ-ერთ მთავარ პრობლემას გადაწყვეტილებების მიღების დროს.
3. ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების მართვის დროს მოქმედ მიზნებს შორის რთული ურთიერთკავშირები არსებობს. მიზნების ნაწილს შორის მჭიდრო კავშირი არსებობს, მიზნების ნაწილს შორის კი - სუსტი. მიზნების ნაწილი წინააღმდეგობრივია, ნაწილი კი - არა. გარდა ამისა, ეს მიზნები არაერთგვაროვანია, ანუ მიზნების ნაწილი ორიენტირებულია მათი შესაბამისი რიცხვითი მნიშვნელობების მაქსიმიზებაზე, ნაწილი კი - მინიმიზებაზე. ყოველივე ეს, აუცილებელს ხდის ექსპერტული სისტემების გამოყენებას ენერგოსისტემების ნორმალური სადღეღამისო რეჟიმების ეფექტური მართვისთვის.

4. ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების მართვაში გამოყენებული ექსპერტული სისტემები არ ითვალისწინებენ ენერგოსისტემის ობიექტებს შორის არსებული კავშირებს.
5. შემუშავებულია ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმების მართვის მოდელი, რომელიც ითვალისწინებს ენერგოსისტემის ობიექტებს შორის კავშირებსა და ამ ობიექტების მიზნებს შორის არსებულ რთულ კავშირებს.
6. შემუშავებულია პროდუქციულ წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის მოდელი და შესაბამისი ალგორითმები, რომლებიც ითვალისწინებენ ენერგოსისტემის ობიექტებს შორის არსებულ კავშირებს.
7. შემუშავებულია მსჯელობების პირდაპირი მწკრივის რეალიზების ალგორითმი. ალგორითმი ითვალისწინებს პროდუქციულ წესებს შორის კონფლიქტს და შესაბამისად ახდენს დასკვნების გენერირებას.
8. შემუშავებულია მონაცემთა და ცოდნის ბაზა, რომლებშიც ასახულია ინფორმაცია ენერგოსისტემის ობიექტების შესახებ და გათვალისწინებულია მათ შორის არსებული რთული ურთიერთ-კავშირები.
9. შემუშავებულია ექსპერტულ სისტემასთან ენერგოსისტემის ტექნოლოგიის ურთიერთობის ინტერფეისი. ინტერფეისი ენერგოსისტემის დისპეტჩერს შესაძლებლობას აძლევს სწრაფად და მოხერხებული გზით შეიტანოს საწყისი მონაცემები, სისტემის მუშაობის ნებისმიერ ეტაპზე შეცვალოს შუალედური მონაცემები, ეკრანზე გამოიტანოს ისინი და ა.შ.



## **The basic theoretical and practical results**

We can make the following conclusions about the results of dissertation:

1. Review and analysis of literature about the expert systems used for solution of problems of energetics shows that such systems are mainly used for effective management of operative, malfunction and post-malfunction modes of power system. Utilization of expert systems for effective management of normal daily modes of power system is less important.
2. There are analyzed conflicts of production rules. It's shown that this problem is one of the most significant in the process of decision-making.
3. Goals of management of daily modes of power system have complex interdependence. Some goals have strong dependence, others have less. Some goals are opposing and others are not. Besides, these goals are diverse. Some of them are oriented on maximization of corresponding quantities and others try to minimize such quantities. Therefore, utilization of expert systems is necessary for effective management of normal daily modes of power systems.
4. Expert systems used for management of daily modes of power system don't provide for connections among objects of power system.
5. Model of management of daily modes of power system is developed. This model provides for connections among objects of power system and complex interdependence of goals of these objects.
6. Model of solution of conflicts of production rules and corresponding algorithms are developed. These model and algorithms provide for connections among objects of power system.
7. Algorithm of realization of direct sequence of discussions is developed. Algorithm provides for conflict among production rules and therefore, generates the conclusions

8. Database and knowledge base is developed, which include information about the objects of power system. They provide for complex interrelationships among these objects.
9. Interface of communication between expert system and technologist of power system is developed. Interface enables dispatcher of power system introduce the original data quickly and adroitly, change the intermediate data at any stage of system operation, make display output and etc.

## დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია

### შემდეგ სამეცნიერო სტატიებში:

1. სამხარაძე რ., ჩიქოვანი დ. ექსპერტული სისტემები ენეტგეტიკაში. თბილისი, "საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი", შრომები. მართვის ავტომატიზებული სისტემები. N 1(8), 2010. გვ. 170-174.
2. სამხარაძე რ., ჩიქოვანი დ. ენერგოსისტემის სადღეღამისო რეჟიმის მართვისას მოქმედ მიზნებს შორის არსებული კავშირების ანალიზი ექსპერტული ცოდნის საფუძველზე. საქართველოს მეცნიერებისა და საზოგადოების განვითარების ფონდი. საერთაშორისო პერიოდული სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტი“. 1(36). თბილისი. 2010. გვ. 54-57.
3. Самхарадзе Р., Чиковани Д. Разработка модели и алгоритма разрешения конфликта между производственными правилами. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ, НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ: Сборник тезисов Международной научно-практической конференции. – Грозный: Изд.-во «Грозненский рабочий», 7-9 октября 2010 г. – 160 с.
4. Самхарадзе Р., Чиковани Д. Экспертная система в управлении Грузинской энергосистемы. Посвящённая 80-летию со дня рождения академика И.В. Прангишвили Международная научная конференция "Информационные и компьютерные технологии, моделирование, управление". Тезисы докладов. Грузия, Тбилиси, 1-4 ноября, 2010 г. ISBN 978-9941-14-855-2. с. 162 – 163.
5. Samkharadze R., Chikovani D. Development of Structure of Expert System on the Basis of Solution of Conflicts among Production Rules. Scientific Journal of International Black Sea University. Volume 4, Issue 2, Tbilisi, 2010. ISSN 1512-3731. p. 157-167.
6. სამხარაძე რ., ჩიქოვანი დ. პროდუქციული წესებს შორის არსებული კონფლიქტების გადაწყვეტის გზები და საშუალებები. თბილისი, "საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი", შრომები. მართვის ავტომატიზებული სისტემები. N2(11). 2011. ISSN 1512-3979. გვ.49-56.